

ビデオ画像とレンジ画像によるハフ変換直線抽出とその計測

星 仰, 篠原 孝輔

茨城大学工学部情報工学科

1. はじめに

現在、都市計画分野などで、対象地域の分析や情報収集、モデリングにおいて、構造物の寸法および道路の幅員まで実際に計測し、入力データとして与えることが必要である。そのためには建物ごとの調査をするか、実測をするかである。小規模では前者でも対応可能であるが、中規模では地上計測が行われ、大規模になると上空調査が行われる。この研究では中規模の街並み調査を対象にしてビデオ画像から建物の高さを計測することにする。ビデオ計測はリアルタイムに動画を生成できるが、本来計測には不向きとされていた。そこで、ビデオ画像の標定にレンジ画像を適用することを試みる。

2. レンジ画像の概要

レンジスキャナ「3D-Laser Mirror Scanner LMS-Z210」の性能は、測定範囲 2~350[m]、測定精度 ±25[mm]、垂直走査 80[度]、水平走査 333[度]である。レーザーによって一定間隔の角度で距離をスキャンするためデータを 2 次元的に配列することで前方画面上の各画素に相当する諸物体全ての斜距離、水平角、垂直角、受光強度を取得することが可能である。取得したデータを変換式によって変換することで、全ての画素について 3 次元座標 (x,y,z) を持つレンジ画像を作成することができる。

3. ビデオ画像の概要

多賀駅前通りの車を車から街並みをビデオカメラで撮影を行った。撮影したビデオ画像からフレーム画像をキャプチャするためのソフトウェアとして「Adobe Premiere」を用いる。フレーム画像のサイズは 320×240、キャプチャ間隔 1fps とする。

4. 計測に用いる知識

ビデオフレーム画像の高さの推定方法として、遠近法を用いる。消失点を求め、消失点に向かう 2 本の直線との比によって高さを推定する。本研究では消失点を求めるために、エッジを抽出し、エッジに対してハフ変換による直線抽出をし、消失点に向かう直線の交点を最小二乗法によって算出するという方式をとる。

ハフ変換は直線の傾き a、切片 b がパラメータ表現されたとき、(a,b) で表される空間上で抽出され

る。この方法は、ノイズを含む画像からの安定した直線検出法であり、画像解析、認識の重要な手法として定着している。この方法をそのまま適用するとパラメータ空間を格納するために無限大の配列が必要になるので、その問題点を取り除いたのが以下の - 表現によるハフ変換法である。パラメータは垂角 と原点からの符号付距離 である。 - 表現によるハフ変換式(4.1)とその逆変換式(4.2)は次式となる。

$$x = \rho \cos(\theta) \quad y = \rho \sin(\theta) \quad (4.1)$$

$$\rho = \frac{x \cos(\theta) + y \sin(\theta)}{\cos^2(\theta) + \sin^2(\theta)} \quad (4.2)$$

- 表現を用いると、パラメータ空間は有限で (画像が有限であるため も有限となる) 軌跡は正弦曲線となる。

5. 建物の計測処理

(a) レンジ画像処理

レンジスキャナ抽出データの中で斜距離を s、垂直角 θ 、水平角 ϕ とすると、レンジ画像を構成するために、各画素について収集データを変換式(5.1)~(5.4)によって 3 次元座標を算出する。

$$z = s \times \cos(90 - \theta) \quad (5.1) \quad t = s \times \sin(90 - \theta) \quad (5.2)$$

$$x = t \times \cos(\phi) \quad (5.3) \quad y = t \times \sin(\phi) \quad (5.4)$$

算出された 3 次元座標のうちの 2 軸平面に画像を配置すると 3 面図(正面図(y,z で配置)、立面図(x,y で配置)、側面図(x,z で配置))を表示することができる。次に、手動によって対象領域の切り出しを行うことで、不要なデータの除去を行うことができる。対象領域を切り出したレンジ画像について、受光強度 μ によって空 ($\mu=0$) と構造物の境界エッジを抽出する。抽出したエッジに対してハフ変換を適用して - 空間(-500[pixel]

500[pixel], 0[/1024rad] 1024[/1024rad]) に投票し、投票数の多い順に g 本の直線抽出を行う。エッジ部分のみを残すことで線分抽出が行える。この線分はそれぞれ各構造物の高さとなるので、画素の平均値を取り、この値を各構造物の高さの最確値とし、手動抽出と比較する。

(b) ビデオ画像処理

ビデオフレーム画像の処理は、まず Sobel フィルタによりエッジ抽出を行う。抽出されたエッジに対してハフ変換を用いて(レンジ画像処理と同様)、頻度の多い順に縦 m 本、横 n 本の直線抽出を行う。直線を画像に描画するためには式(4.2)によって逆変換し、画像内であるものを描画する。各直線から線分長を求め、これによってハフ変換による直線抽出の信頼性を検討する。

次に、抽出した直線から消失点に向かう適切な直線を $n_0(n_0 - n)$ 本手動によって選択し、最小二乗法を用いて消失点の位置を算出する。さらに、消失点と構造物の高さ、消失点と地上との接点をそれぞれ結ぶ直線が無いとき、手動選択し、消失点から選択点へ直線を引き、直線データとして追加する。

(c) ビデオ画像計測処理

ビデオフレーム画像の計測処理には、まずビデオフレーム画像(ここでは $taga_i.bmp$)の構造物の高さと地上との接点を示すそれぞれの基線(消失点に向かう直線)にそれぞれ高さ 0 を割り当てる。割り当てる高さはレンジ画像処理で抽出した構造物の高さを用いる。高さの割り当てが完了すれば、ビデオフレーム画像の全ての画素について 3 点の比を用いて高さを推定することができる¹⁾。

次に、新たに画像を読み込み($taga_{i+j}.bmp$ ($j = 1$)), $taga_i.bmp$ で求めた、消失点、構造物の高さを示す基線、 0 を示す基線を同様に用いて $taga_{i+j}.bmp$ での高さの推定を行い、レンジ画像における高さに合わせて比較する。

6. 計測処理結果

(a) レンジ画像構造物の高さの抽出結果

レンジ画像処理によって自動抽出した構造物の高さとレンジ画像から手動で抽出した構造物の高さとを比較する。抽出する構造物の数を 5 とする。手動抽出では各構造物の高さは最高点 5 点の平均とし、3 回抽出処理を行った平均を手動高さの最確値とした。

表 6.1 レンジ画像による高さ抽出結果

構造物番号	自動測定高さ	手動測定高さ
1	8.645	8.646
2	7.954	7.876
3	18.728	18.774
4	13.795	13.679
5	13.477	13.568

(b) ビデオ画像ハフ変換直線抽出結果

ハフ変換を用いて抽出した直線パラメータ(頻度順に横(10 ~ 1014[°/1024rad]の角度), 縦それぞれ 10 本の直線を抽出し、各直線の線分長を pixel 数で求めた。

表 6.2 ハフ変換による直線抽出結果

横方向直線番号	頻度	線分長	縦方向直線番号	頻度	線分長
1	129	152	1	122	102
2	111	47	2	94	45
3	99	33	3	84	93
4	94	67	4	68	36
5	94	58	5	46	25
6	90	15	6	18	10
7	85	14	7	16	13

(c) ビデオ画像高さ計測結果

標定点について、レンジ画像における標定点の高さ、各ビデオフレーム画像の標定点の高さをそれぞれ手動で計測し、比較する。いずれの高さも 5 回の計測を行い、その平均をとる。

表 6.3 ビデオ画像高さ計測結果

標定点番号	レンジ高さ[m]	taga1 [m]	taga2 [m]	taga3 [m]	taga5 [m]	taga15 [m]
標定点 1	7.011	7.081	7.068	7.179	7.062	7.097
標定点 2	5.737	5.923	5.900	6.094	6.016	6.080
標定点 3	2.907	3.094	2.979	3.283	3.234	3.201

7. 考察

まず、レンジ画像での高さの自動抽出については手動における抽出と同程度の精度で抽出を行えることが実験により確認できた。

次に、ハフ変換直線抽出の精度は、実験結果と目視による確認を併用すると $m=n=5$ [本]程度が抽出の限界という結果が得られた。精度を向上させるためには、エッジ抽出の工夫、ハフ変換を画像全体ではなく、部分的に用いる方法が考えられる。

最終目標であるビデオ画像の高さ計測については、数十センチの誤差が発生する場合があったが、ビデオフレームを進めることによる大きな精度の低下が見られないことから、ある程度の時間が経過しても計測を続けられることが確認できた。部分的に発生する誤差の原因はビデオカメラの振れと考えられる。

今後の課題としては部分的に発生するカメラの振れによる誤差を小さくすることが必要があるので、ビデオフレーム画像間で直線マッチングを行い、振れを抽出し、高さ推定に用いる基準線を補正することが考えられよう。

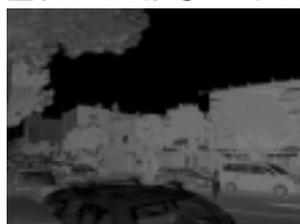


図 1 レンジ画像



図 3 レンジ画像高さ抽出



図 3 ビデオ画像(i 番目)



図 4 ビデオ画像(i+15 番目)

参考文献

1) 星仰: "レンジ画像によるビデオ画像の近時標定法とその適用", 情報科学技術フォーラム FIT'02, J-35, pp271 ~ 272, 2002.9